

**LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR ELEMENT OF NITRIDE-BASED III-V COMPOUND**

Patent number: JP10215028

Publication date: 1998-08-11

Inventor: TERAGUCHI NOBUAKI

Applicant: SHARP CORP

Classification:

- International: H01S3/18; H01L33/00

- european:

Application number: JP19970014902 19970129

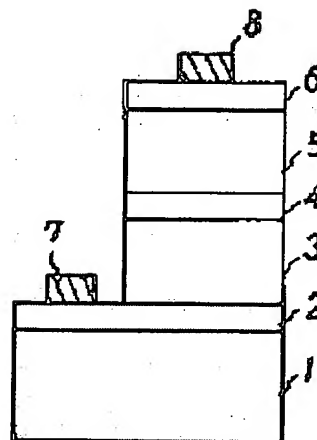
Priority number(s):

Also published as

 US591719**Abstract of JP10215028**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make it possible to have a large-band discontinuous value between semiconductor layers and to achieve lattice matching by using AlGa<sub>N</sub> for a barrier layer and using AlGa<sub>N</sub>bN for an active layer.

**SOLUTION:** On an LiAlO<sub>2</sub> substrate 1, an N-type GaN contact layer 2, an N-type Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N barrier layer 3, an I-type Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>N active layer 4 and a P-type GaN contact layer 6 are sequentially grown. Cleavage is performed by using the cleavage property to the LiAlO<sub>2</sub> substrate 1 from the laminated structure formed in this way, and a laser element is manufactured. At this time, the band gap and the lattice constant of a P-type Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N barrier layer 5 are set at about 3.87eV and 3.17Å, respectively. In the meantime, the lattice constant of an Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>N active layer 4 is 3.169Å and approximately achieves the lattice matching with the P-type Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N barrier layer 5. The band gap is set at about 2.8eV, and the large bandgap difference is obtained.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-215028

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月11日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号

特願平9-14902

(22) 出願日

平成9年(1997) 1月29日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 寺口 信明

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

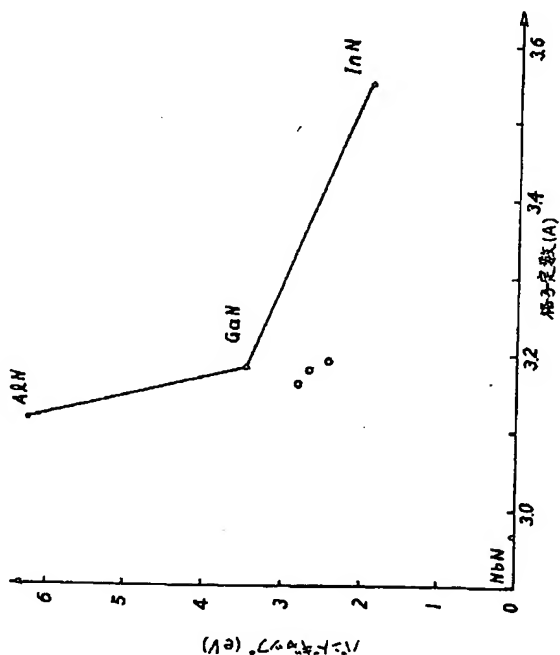
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 窒化物系 III-V 族化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 窒化物系 III-V 族化合物半導体間において、大きなバンド不連続値を有し、かつ格子整合した半導体層が得られていなかった。

【解決手段】 障壁層と活性層を接合してなる窒化物系 III-V 族化合物半導体発光素子において、前記活性層は Nb を含むことを特徴とする窒化物系 III-V 族化合物半導体発光素子を提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 障壁層と活性層を接合してなる窒化物系III-V族化合物半導体発光素子において、前記活性層はNbを含むことを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子。

【請求項2】 障壁層と活性層を接合してなる窒化物系III-V族化合物半導体発光素子において、前記障壁層はAlGaInからなり、前記活性層はAlGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子。

【請求項3】 障壁層と活性層を接合してなる窒化物系III-V族化合物半導体発光素子において、前記障壁層はAlGaInからなり、前記活性層はAlGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子。

【請求項4】 障壁層と活性層を接合してなる窒化物系III-V族化合物半導体発光素子において、前記障壁層はGaInからなり、前記活性層はGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物系III-V族化合物半導体発光素子に関し、特に紫外、青色あるいは緑色のバンド端発光を行う窒化物系III-V族化合物半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】これまで、窒化物系III-V族化合物半導体発光素子に用いられる材料としては、AlN、GaIn、InNおよびこれらを組み合わせた3元素、4元素のうちAlGaIn、GaInNが検討されている。その中でも、特開平6-177423号公報には、p型AlGaIn層、n型GaInN層を用いることで青色あるいは緑色のLEDが実現されている。

【0003】また、“InGaIn-Based Multi-Quantum-Well-Structure Laser Diodes”, S. Nakamura et al., Jap. J. Appl. Phys. vol. 35 (1996) pp L74~L76には、Ga<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N/Ga<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>N多重量子井戸構造26周期を活性層として用いたAlGaIn/InGaIn系レーザで室温パルス発振が得られた半導体レーザ装置が記載されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記で述べたp型AlGaInとn型GaInNの組み合わせを用いたLEDの場合には、GaInN中の不純物単位による発光を用いることで青色または緑色の発光を実現している。ところが、レーザのようなキャリアの高注入状態を用いる場合には、バンド端発光が支配的になってい

るため、不純物単位を介した発光ではレーザ発振は不可能である。

【0005】また、GaInNのバンド端発光を用いたレーザ構造の場合、量子井戸構造の井戸層と障壁層の間の格子不整の大きさを考えると両者のバンド不連続値を十分に大きな値にすることができないため、井戸数を26とかなり多くすることでキャリアの閉じ込めを図っている。しかしながら、井戸数が多くなるとアンドープの活性層幅が大きくなることにより、発振しきい値電圧が異常に大きな値となり、また、活性層中の格子歪が大きくなる問題があった。したがって、少ない井戸数でレーザ発振を得ることが望ましいが、このためには井戸層と障壁層のバンド不連続値を大きくし、かつ、格子整合した材料を選択しなければならない。

【0006】現状のAlGaInでは、Al組成として最大20%程度の値が用いられ、このとき、バンドギャップは約3.87eV、格子定数は3.17Åとなる。また、現状のInGaInでは、In組成として15%程度の値が用いられ、このとき、バンドギャップは約3.05eV、格子定数は3.24Åとなる。したがって、両者の間の格子不整は、2.2%になる。

【0007】図7に、Al、Inを含むGaIn系半導体のa軸の格子定数とバンドギャップとの関係を示す。図7から明らかなように、AlGaInとInGaInのバンドギャップ差を大きくすればするほど格子不整も大きくなっていく。したがって、AlGaIn、InGaInの組み合わせを用いた場合、格子不整を0%にして、しかも大きなバンドギャップ差を得ることは不可能である。言い換えると、従来のAlGaIn系の場合、AlGaInとGaInNのバンド不連続値を大きくしようとするときAlとInの組成が大きくなり、その結果、格子不整が一段と大きくなる。以上のことから、AlGaIn/InGaIn系では青から緑の領域でのレーザ発振は困難であった。

【0008】以上に鑑み、本発明は、半導体層間に大きなバンド不連続値を有し、かつ、格子整合した化合物半導体を用いた窒化物系III-V族化合物半導体発光素子を提供することを目的としている。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記の問題を解決するために、鋭意研究を重ねた結果、以下に記載する半導体材料を用いることが有効であることが分かった。

【0010】本発明によれば、障壁層と活性層を接合してなる窒化物系III-V族化合物半導体発光素子において、前記活性層はNbを含むことを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子が提供される。

【0011】本発明によれば、前記障壁層はAlGaInからなり、前記活性層はAlGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子が提供される。

【0012】また、前記障壁層はAlGaInNからなり、前記活性層はAlGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子が提供される。

【0013】また、前記障壁層はGaInNからなり、前記活性層はGaInNbNからなることを特徴とする窒化物系III-V族化合物半導体発光素子が提供される。

【0014】図7に、六方晶系のAlN, GaN, InNおよびNbNのバンドギャップとa軸方向の格子定数との関係を示す。図7に示すように、GaNとNbNとの間には直線を引くことはできず、その詳細な相関関係については未だ得られていない。また、以下に示す本実施の形態で得られたAlGaInNbNからなる半導体における格子定数とバンドギャップの相関を図中白丸で示した。

【0015】今回、新たな構成元素として見出したNbを用いた場合、図7に示されるように例えばGaNに添加したGaInNbNを考えると、AlGaInに格子整合しつつ、AlGaInとのバンド不連続値を大きくできるという方向に作用する点で優れており、本発明の以下の実施の形態ではすべてこの現象を応用してなされたものである。

【0016】なお、Nbの添加量としては、結晶構造の点からは何らの制限も受けない。しかしながら、レーザの発振波長として紫外から緑色を考えた場合、バンドギャップの点（活性層のバンドギャップとして約2.4eV）からNb組成を10%以下にすることが好ましい。Nbを添加する場合には直線的にバンドギャップが変化するのではなく、Nbの添加量と共に急激にバンドギャップが減少するからである。本発明の以下の実施の形態は、すべてこの点を考慮し、Nb組成を10%以下としている。

【0017】

【発明の実施の形態】

（実施の形態1）図1は、障壁層としてAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N、活性層としてAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>Nを用いた青色発光素子の断面図である。成長方法としてMBE法を用い、障壁層・活性層いずれも基板温度800℃で成長を行った。Al, Ga, Inに対してはKセル（クヌーセンセル）を用い、Nbに対してはEガン（電子銃）を用いており、Nはラジカルセルを用いている。

【0018】LiAlO<sub>2</sub>基板1の上に、n型GaNコンタクト層2（層厚0.1μm、キャリア濃度1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>）、n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層3（層厚1.0μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>）、i型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>N活性層4（層厚20nm）、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層5（層厚0.8μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>）、p型GaNコンタクト層6（層厚0.2μm、キャリア濃度2×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>）を順次成長した。符号7、8は、それぞれn型電極、p型

電極である。以上のように形成した積層構造からLiAlO<sub>2</sub>基板1のへき開性を用いてへき開してレーザ素子を作製した。形成された青色発光素子の共振器長は1mm、p型電極のストライプ幅は10μmであった。

【0019】この発光素子の室温CW駆動時の電流-光出力特性を図2に示す。しきい値電流1Aでレーザ発振することが明らかとなった。この青色発光素子のしきい値電流は、10Vとなっており、従来のInGaIn多重量子井戸構造を用いた場合の34Vよりもかなり小さな値となった。なお、レーザの発振波長は、430nmであった。

【0020】p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層5のバンドギャップと格子定数は、それぞれ約3.87eV、3.17Åとなっている。一方、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>N活性層4の格子定数は、3.169Åであり、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層5にはほぼ格子整合し、そのバンドギャップは、約2.8eVとなっておりIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N活性層を用いた場合よりも大きなバンドギャップ差が得られている。

【0021】（実施の形態2）図3は、障壁層としてAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N、活性層としてAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.85</sub>In<sub>0.03</sub>Nb<sub>0.02</sub>N/AI<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N3重量子井戸構造を用いた青緑色発光素子の断面図である。成長方法としてMBE法を用い、障壁層・活性層いずれも基板温度800℃で成長を行っている。Al, Ga, Inに対してはKセルを用い、Nbに対してはEガンを用いており、Nはラジカルセルを用いている。

【0022】LiAlO<sub>2</sub>基板1の上に、n型GaNコンタクト層2（層厚0.1μm、キャリア濃度1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>）、n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層3（層厚1.0μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>）、i型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.85</sub>In<sub>0.03</sub>Nb<sub>0.02</sub>N/AI<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N3重量子井戸活性層9（層厚5/10nmの繰り返し構造）、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層5（層厚0.8μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>）、p型GaNコンタクト層6（層厚0.2μm、キャリア濃度2×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>）を順次成長した。符号7、8は、それぞれn型電極、P型電極である。以上のように形成された積層構造をLiAlO<sub>2</sub>基板1のへき開性を用いてへき開してレーザ素子を作製した。青緑色発光素子の共振器長は1mm、p型電極のストライプ幅は10μmであった。

【0023】本実施の形態に示す青緑色発光素子の室温CW駆動時の電流-出力特性を図4に示す。しきい値電流0.8Aでレーザ発振することが明らかとなった。青緑色発光素子のしきい値電圧は、8Vとなっており、従来のInGaInからなる多重量子井戸構造を用いた発光素子のしきい値電圧34Vよりもかなり小さな値となっていた。なお、レーザの発振波長は、470nmであった。

【0024】(実施の形態3)図5は、障壁層としてGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.05</sub>Nb<sub>0.05</sub>N(格子定数3.188Å)を用いた緑色発光素子の断面図である。成長方法としてMBE法を用い、障壁層・活性層いずれも基板温度700℃で成長を行った。Ga、Inに対してはKセルを用い、Nbに対してはEガンを用いており、Nはラジカルセルを用いた。

【0025】LiGaO<sub>2</sub>基板10の上に、n型GaNコンタクト層2(層厚0.1μm、キャリア濃度1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>)、n型GaN障壁層11(層厚1.0μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)、i型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.07</sub>Nb<sub>0.03</sub>N活性層12(層厚10nm)、p型GaN障壁層13(層厚0.8μm、キャリア濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)、p型GaNコンタクト層6(層厚0.2μm、キャリア濃度2×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>)を順次成長した。符号7、8は、それぞれn型、p型電極である。以上のような積層構造をLiGaO<sub>2</sub>基板10のへき開性を用いてへき開して緑色発光素子を作製した。緑色発光素子の共振器長は1mm、p型電極のストライプ幅は10μmであった。

【0026】この緑色発光素子の室温CW駆動時の電流-光出力特性を図6に示す。しきい値電流0.8Aでレーザ発振することが明らかとなった。この素子のしきい値電圧は、9Vとなっており、InGa<sub>0.9</sub>N多重量子井戸を用いた場合の34Vよりもかなり小さな値となっていた。なお、レーザの発振波長は、510nmであった。

【0027】

【発明の効果】本発明によれば、窒化物系III-V族化合物半導体を積層してなる半導体層間に大きなバンド不連続値を有し、且つ、格子整合させることができる。これによって、低しきい値電圧で低しきい値電流の特性を有する窒化物系III-V族化合物半導体発光素子を提供

することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態1の青色発光素子の積層構造を示す図である。

【図2】実施の形態1の青色発光素子の電流-光出力特性を示す図である。

【図3】実施の形態2の青緑色発光素子の積層構造を示す図である。

【図4】実施の形態2の青緑色発光素子の電流-光出力特性を示す図である。

【図5】実施の形態3の緑色発光素子の積層構造を示す図である。

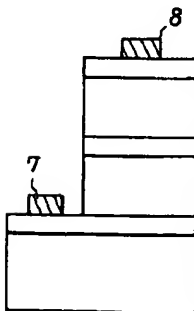
【図6】実施の形態3の緑色発光素子の電流-光出力特性である。

【図7】窒化物半導体のバンドギャップとa軸格子定数との関係を示す図である。

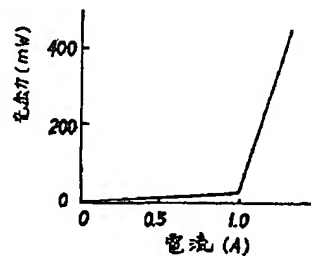
【符号の説明】

- 1 LiAlO<sub>2</sub>基板
- 2 n型GaNコンタクト層
- 3 n型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層
- 4 i型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.88</sub>Nb<sub>0.02</sub>N活性層
- 5 p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N障壁層
- 6 p型GaNコンタクト層
- 7 n型電極
- 8 p型電極
- 9 i型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.85</sub>In<sub>0.03</sub>Nb<sub>0.02</sub>N/AI<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N3重量子井戸活性層
- 10 LiGaO<sub>2</sub>基板
- 11 n型GaN障壁層
- 12 i型Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.07</sub>Nb<sub>0.03</sub>N活性層
- 13 p型GaN障壁層

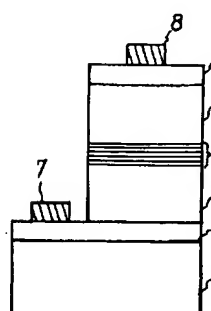
【図1】



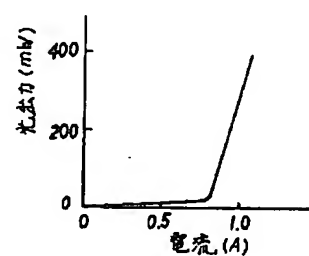
【図2】



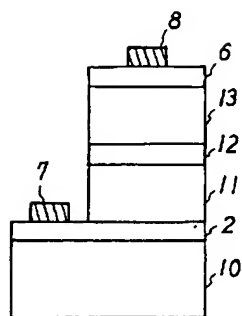
【図3】



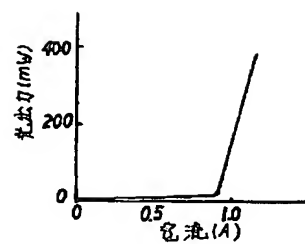
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

